

PATIENT ABSTRACTS OF JACON

(11)Publication number : 10-319259

(43)Date of publication of application : 04.12.1998

(51)Int.Cl. G02B 6/122
G02B 5/18
H01S 3/10

(71)Applicant : SUMITOMO ELECTRIC IND LTD

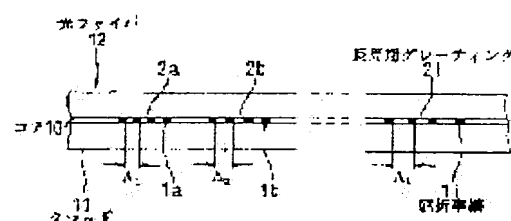
(72)Inventor : MOBARA MASAICHI
SHIGEMATSU MASAYUKI
KADOI MOTOTAKA

(54) OPTICAL WAVEGUIDE AND OPTICAL DEVICE PROVIDED WITH LONG PERIOD GRATING

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an optical waveguide and an optical device provided with the optical waveguide having a long period grating whose loss-wavelength characteristic is changed by physical conditions such as temperature.

SOLUTION: This optical waveguide comprises plural numbers of long period gratings 2j composed of refractive index fringes 1j causing attenuation within the prescribed wavelength range about the maximum loss wavelength λ_j in which the loss of a signal light beam propagating in a core 10 becomes maximum. Plural long period gratings 2j are arranged in a train of optical waveguides in series. In at least any one of the plural long period gratings 2j, the maximum loss wavelength λ_j is shifted by the ambient conditions such as temp. or tension and the whole loss-wavelength characteristic is changed.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 09.08.1999

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

7/8

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-319259

(43) 公開日 平成10年 (1998) 12月4日

(51) Int. Cl.⁶
G 0 2 B 6/122
5/18
H 0 1 S 3/10

識別記号

F I
G 0 2 B 6/12 A
5/18
H 0 1 S 3/10 Z

審査請求 未請求 請求項の数11 O L (全 9 頁)

(21) 出願番号 特願平9-129743
(22) 出願日 平成9年 (1997) 5月20日

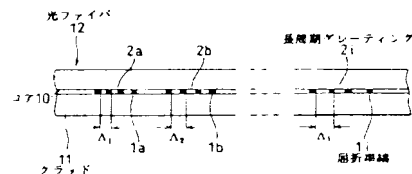
(71) 出願人 000002130
住友電気工業株式会社
大阪府大阪市中央区北浜四丁目5番33号
(72) 発明者 茂原 政一
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(72) 発明者 重松 昌行
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(72) 発明者 角井 素貴
神奈川県横浜市栄区田谷町1番地 住友電
気工業株式会社横浜製作所内
(74) 代理人 弁理士 長谷川 芳樹 (外3名)

(54) 【発明の名称】 長周期グレーティングを備えた光導波路及び光学デバイス

(57) 【要約】

【課題】 温度等の物理的要件によって損失波長特性が変化する長周期グレーティングを有する光導波路、およびこの光導波路を備えた光学デバイスを提供することを目的とする。

【解決手段】 コア10を伝搬する信号光の損失が極大となる損失極大波長 λ_j を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる屈折率縞1jからなる長周期グレーティング2jを複数個有し、複数の長周期グレーティング2jは一連の光導波路に直列に配置され、複数の長周期グレーティング2jの少なくともいずれか一つは、温度あるいは張力等の周囲条件によって損失極大波長 λ_j がシフトして、全体の損失波長特性が変化する光導波路である。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 コアの屈折率が光軸方向に周期的に変化すると共に、前記コアを伝搬する信号光の損失が極大となる損失極大波長を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる長周期グレーティングを複数個有し、前記複数の長周期グレーティングは一連の光導波路に直列に配置され、前記複数の長周期グレーティングの少なくともいずれか一つは、特定の物理的な周囲条件によって前記損失極大波長がシフトして、損失波長特性が変化することを特徴とする長周期グレーティングを備えた光導波路。

【請求項2】 前記周囲条件が温度であることを特徴とする請求項1に記載の長周期グレーティングを備えた光導波路。

【請求項3】 少なくとも2以上の長周期グレーティングが同種の光導波路に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の長周期グレーティングを備えた光導波路。

【請求項4】 少なくとも2以上の長周期グレーティングが異種の光導波路に形成されていることを特徴とする請求項1に記載の長周期グレーティングを備えた光導波路。

【請求項5】 光部品と長周期グレーティングを有する光導波路とを備えた光学デバイスにおいて、前記長周期グレーティングは、前記光導波路のコアの屈折率が光軸方向に周期的に変化すると共に、前記コアを伝搬する信号光の損失が極大となる損失極大波長を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる長周期グレーティングを複数個有し、前記複数の長周期グレーティングは、一連の光導波路に直列に配置され、前記複数の屈折率縞の少なくともいずれか一つは、特定の物理的な周囲条件によって前記損失極大波長がシフトして、全体の損失波長特性が変化することを特徴とする光学デバイス。

【請求項6】 前記周囲条件が温度であることを特徴とする請求項5に記載の光学デバイス。

【請求項7】 前記複数の長周期グレーティングのうち、室温における損失極大波長が短波長側にあるものほど、温度変化に対する波長変化が大きいことを特徴とする請求項6に記載の光学デバイス。

【請求項8】 前記光学デバイスは、前記光部品と前記長周期グレーティングを有する前記光ファイバとを備えると共に、前記光学デバイスの周辺温度を検知する温度センサ並びに前記光ファイバに張力を付与する張力付与機構を具備し、前記複数の長周期グレーティングの少なくともいずれか一つは、前記温度センサの温度に対応する出力に応じた所定の前記張力が付与されることによって損失極大波長が変化して、全体の損失波長特性が変化することを特徴

とする請求項5に記載の光学デバイス。

【請求項9】 損失波長の異なる前記複数の長周期グレーティングのうち、室温における損失極大波長が短波長側にあるものほど、張力に対する損失波長の変化が大きいことを特徴とする請求項8に記載の光学デバイス。

【請求項10】 前記光部品が光ファイバアンプであることを特徴とする請求項5又は8のいずれかに記載の光学デバイス。

【請求項11】 前記光ファイバアンプの平均利得に対する利得偏差の比が、実効動作波長範囲において4%以内であることを特徴とする請求項10に記載の光学デバイス。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光通信分野などで、特に希土類添加光ファイバアンプの利得などの温度依存性を解消するために使用される長周期グレーティングを備えた光導波路及びこれを用いた光学デバイスに関するものである。

【0002】

【従来の技術】代表的な光ファイバ通信システムは、光信号源と、この光信号源に一端が接続された光ファイバ線路と、この光ファイバ線路の他端に接続された光受信器とを備えている。光ファイバ線路中には、伝送中の信号を増幅するための光増幅器が設置されている。このような光ファイバ通信システムでは、多くの場合、1.5 μm 帯の信号光が用いられ、光増幅器としてエルビウム(Er)等の希土類が添加された光ファイバアンプが使用されている。この希土類添加光ファイバアンプは、所定の励起光を入射させて反転分布を形成しておいてから1.5 μm 帯の光を入射させると、誘導放出を引き起こして入射光を増幅する作用を有している。

【0003】このような光ファイバアンプにおいて、励起光による光ファイバアンプの反転分布は温度依存性を有している。この反転分布の温度依存性は、利得の変動や雑音指数の増大をもたらすことから、複数の光ファイバアンプによって光増幅が繰り返されると反転分布に応じた波長分布が信号光に生じてしまい、この結果、異なる波長の光に対して利得が異なるという利得の波長依存性が生じてしまう。このため、波長分割多重(WDM)方式の多重化通信システムでは、チャンネルごとに異なる利得が与えられてしまい、これによっていくつかのチャンネルのビット誤り率が高くなるという問題が生じている。

【0004】これらの問題を解決するためにファイバグレーティングを使用する技術が、特開平-283786号公報及び論文「Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters」(JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY VOL. 14, NO. 1, JANUARY 1996)に記載されている。ファイバグレーティングは、光ファイバの軸に沿ってコ

ア内に形成された周期的な屈折率変調領域であり、これには比較的短周期のブラッググレーティングと、これよりも長周期（実際には、約50～1500μm）のグレーティングとが含まれるが、上記の論文では長周期グレーティングが使用されている。この長周期グレーティングは、光ファイバを伝送するコアモードとクラッドモードとの間の結合を誘起するグレーティングであり、グレーティングの周期（ピッチ）がコアモードとクラッドモードとの光路差が2πとなるように設定されていて、コアモードからクラッドモードへの強いパワー変換をもたらすようになっている。この結果、長周期グレーティングは、コアモードをクラッドモードに放射させる作用を有することになり、コアモードの強度を所定波長（以下、「損失波長」と呼ぶ。）を中心とした狭い帯域にわたって減衰させる。上記の論文では、増幅自然放射の波長分布に応じた波長分布の光減衰特性を有する長周期グレーティングを光ファイバ線路中に設けることで増幅自然放射を打ち消し、増幅された信号光の波長スペクトルを平坦化できることが記載されている。

【0005】このような長周期グレーティングは、通常、感光性のコアを有する光ファイバの軸方向に沿って所定の間隔で局所的に光を照射することにより周期的な光誘起屈折率変化を生じさせることで作製することができる。よく行われているのは、感光性ファイバとして、コアに感光材であるゲルマニウムまたはリンが添加された石英ガラス系の光ファイバを用意し、作製すべきグレーティングの周期に対応した間隔で光透過部と光遮断部とが交互に格子状に配列されてなる強度変調マスクをこの光ファイバの上に配置し、強度変調マスクの上から248nmから193nm付近の波長の紫外光ビームを照射する方法である。この方法によれば、強度変調マスクの各光透過部を透過した紫外光が光ファイバに照射され、ゲルマニウムが添加されたコアのうち紫外光が照射された箇所の屈折率が局所的に上昇する。この結果、強度変調マスクの光透過部の配列周期と略等しい周期で屈折率が変調した領域、すなわちグレーティングがコアに形成されることになる。

【0006】長周期グレーティングによってコアからクラッドに放射される光の波長スペクトルの中心波長、すなわち損失波長は、次式に基づいて決まる。

$$\beta_{\text{core}}^{(l,m)} - \beta_{\text{clad}}^{(n)} = 2\pi/\Lambda \quad \dots (1)$$

ここで、 l, m はコアモードの次数（基本モードL P₀₁なら $l=0, m=1$ ）であり、 $\beta_{\text{core}}^{(l,m)}$ は (l,m) で規定されるコアモードの伝搬定数であり、 $\beta_{\text{clad}}^{(n)}$ は n 次のクラッドモードの伝搬定数であり、 Λ は長周期グレーティングの周期である。

【0007】伝搬定数 $\beta_{\text{core}}, \beta_{\text{clad}}$ は損失波長に依存するパラメータであるから、上記(1)式から、グレーティング周期 Λ を調整して長周期グレーティングを形成することにより長周期グレーティングの損失波長を制御

できることがわかる。また、また、 β_{core} はコアの実効屈折率、 β_{clad} はクラッドの実効屈折率のそれぞれ依存するから、グレーティングの周期を一定とした場合には、長周期グレーティングの損失波長は、主として長周期グレーティングが形成された部位におけるコアとクラッドとの実効屈折率に依存することになる。グレーティング形成部におけるコアの実効屈折率は変調された屈折率の平均値を基礎として考えることができ、グレーティング形成部におけるコアの実効屈折率差は、コアの屈折率の平均値とクラッドの屈折率との差に依存する。グレーティング形成時の紫外光の照射量に応じてコアの屈折率変調の振幅が変化し、これに応じてコアの屈折率も変化するから、結局、紫外光の照射量を調整して長周期グレーティングを形成することにより、コア・クラッド間の実効屈折率差を調整し、長周期グレーティングの損失波長を制御することも可能である。

【0008】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら光ファイバアンプの利得特性は、増幅自然放射による波長依存性の外に温度依存性があり、光ファイバアンプの波長領域を有効に利用することができないという問題があった。そのために、恒温槽を用いたり、あるいは温度の影響が少ない波長範囲に限定して使用する等の手段が講ぜられてきた。恒温槽を用いたのでは高価で、また、使用場所が制限されることになる。さらに、使用波長範囲を限定したのでは光通信の大容量化の目的に添うことができない。

【0009】そこで本発明は、上記の課題を解決するためになされたもので、温度等の物理的要件によって損失波長特性が変化する長周期グレーティングを有する光導波路、およびこの光導波路を備えた光学デバイスを提供することを目的とする。

【0010】

【課題を解決するための手段】本発明に係わる長周期グレーティングを備えた光導波路は、コアの屈折率が光軸方向に周期的に変化すると共に、コアを伝搬する信号光の損失が極大となる損失極大波長を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる長周期グレーティングを複数個有し、複数の長周期グレーティングは一連の光導波路に直列に配置され、複数の長周期グレーティングの少なくともいずれか一つは、特定の物理的な周囲条件（例えば、温度あるいは張力）によって損失極大波長がシフトして、全体の損失波長特性が変化することを特徴とする。

【0011】本発明の長周期グレーティングを備えた光導波路によれば、複数の長周期グレーティングが直列に配置されると共に、これら長周期グレーティングの周辺温度等が変化すると、少なくともいずれか一方の損失極大波長がシフトする特性を有する光導波路である。いずれかの損失極大波長がシフト、あるいはこれらのシフト量

が異なれば全体の損失波長特性が変化することになる。したがって、光部品が温度依存性を有する場合は、光部品の温度依存性と反対の傾向を呈するような長周期グレーティングを備えた光導波路を付加することによって、光部品の温度依存性を解消することができる。本発明の光導波路は、このようなところに使用するものである。

【0012】本発明の長周期グレーティングにおいて、複数の長周期グレーティングが同種の光ファイバに作成されると共に、複数の長周期グレーティングの各ピッチをコアモードと結合するクラッドモードの次数に対応するように選択することができる。長周期グレーティングの各ピッチを選択することによってコアモードと結合するクラッドモードの次数が異なるので、損失極大波長及び減衰量、さらには周囲の物理量の変化に対する損失極大波長のシフトを変えることができるので別の損失波長特性が得られる。また、複数の長周期グレーティングを異種の光ファイバに作成することができる。この場合は、各長周期グレーティングの損失極大波長及び減衰量、さらには周囲の物理量の変化に対する損失極大波長のシフトが異なるので他の損失波長特性を得ることができる。

【0013】次に、本発明の光学デバイスは、光部品と長周期グレーティングを有する光導波路とを備えた光学デバイスにおいて、長周期グレーティングは、光導波路のコアの屈折率が光軸方向に周期的に変化すると共に、コアを伝搬する信号光の損失が極大となる損失極大波長を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる長周期グレーティングを複数個有し、複数の長周期グレーティングは、一連の光導波路に直列に配置され、複数の長周期グレーティングの少なくともいずれか一つは、特定の物理的な周囲条件（例えば、温度あるいは張力）によって損失極大波長がシフトして、全体の損失波長特性が変化することを特徴とする。

【0014】本発明の光学デバイスによれば、光部品が例えば温度依存性を有する光ファイバアンブである場合、光ファイバアンブの利得の温度依存性と反対の傾向を呈するような損失波長特性を有する長周期グレーティングを備えた光導波路を光ファイバアンブの前、又は後あるいは中間に接続することによって温度依存性を解消することができる。

【0015】本発明の他の光学デバイスは、光部品と長周期グレーティングを有する光ファイバとを備えると共に、光学デバイスの周辺温度を検知する温度センサ並びに前記光ファイバに張力を付与する張力付与機構を具備し、複数の長周期グレーティングを構成する各長周期グレーティングの少なくともいずれか一つは、温度センサの温度に対応する出力に応じた所定の張力が付与されることによって長周期グレーティングの損失極大波長が変化して、全体の損失波長特性が変化することを特徴とする。

【0016】この発明の光学デバイスは、上述の光部品が例えば温度依存性を有する光ファイバアンブである場合の利得の温度依存性を解消するものである。この場合は、周囲の温度を一旦温度センサで測定し、温度センサの出力を長周期グレーティングを有する光ファイバに加えて張力を発生せしめ、この張力によって少なくともいずれか一つの損失極大波長を変化させて、全体の損失波長特性を変化させるものである。温度センサの出力はピエゾ素子等によって張力を発生させるので、正確に所望の形状の損失波長特性を得ることができる。

【0017】上記の光学デバイスにおいて、光ファイバアンブの平均利得に対する利得偏差の比が、実効動作波長範囲において4%以内であることが好ましい。複数の光ファイバアンブによって光増幅が繰り返されても、増幅された信号光の波長スペクトルの平坦化を維持するためである。

【0018】

【発明の実施の形態】以下、添付図面を参照しながら長周期グレーティングを備えた光導波路及びこれを備えた光学デバイスにかかわる実施の形態を詳細に説明する。なお、図面の説明において同一の要素には同一の符号を付し、重複する説明を省略する。

【0019】（実施形態1）図1は、本実施形態に係わる長周期グレーティングを備えた光ファイバの構成を示す断面図である。図1において、光ファイバ12は、石英系ガラスに酸化ゲルマニウム（ GeO_2 ）のような感光性の元素が添加されたコア10と、コア10の外周にコアより屈折率の低い石英系ガラスのクラッド11とによって形成される。長周期グレーティングは、光ファイバ12のコア10の屈折率が光軸方向に周期的に変化すると共に、コア10を伝搬する信号光はその周期に対応してコアモードからクラッドモードに放射してコアモードの損失が極大となる損失極大波長（ $\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_i$ ）を中心として所定の波長範囲で減衰を生じさせる屈折率縞（ $1_1, 1_2, \dots, 1_i$ ）からなる長周期グレーティングを複数個によって形成される。

【0020】複数の長周期グレーティング（ $2_1, 2_2, \dots, 2_i$ ）は、一連の光導波路に直列に配置して形成された異なる周期（ $\Lambda_1, \Lambda_2, \dots, \Lambda_i$ ）の屈折率縞（ $1_1, 1_2, \dots, 1_i$ ）の少なくともいずれか一つは、特定の物理的な周囲条件（例えば、温度あるいは張力）によって損失極大波長 λ_i がシフトする構成であり、いずれかの損失極大波長 λ_i がシフトすることによって、全体の損失波長特性が変化するのである。

【0021】図2は、図1に示した同一のコア10に形成された屈折率縞 Λ_i の中、2つの屈折率縞 $1_1, 1_2$ が温度によって損失波長の減衰形状が変化する状態を示すグラフである。図2（a）は25℃（室温）における透過損失の形状を表すものであり、 Λ_i は屈折率縞 1_1 によ

る損失極大波長 λ_1 の損失波長特性、 A_2 は屈折率 n_1 による損失極大波長 λ_2 の損失波長特性、そして A_0 は屈折率 n_1 と n_2 の両方による損失波長特性を示すグラフであり、使用波長によらずほぼ一定の損失を有する波長特性である。また、図2(b)は75℃における透過損失の形状を表すものであり、 A_1' は屈折率 n_1 による損失極大波長 λ_1 の損失波長特性、 A_2' は屈折率 n_1 による損失極大波長 λ_2 の損失波長特性、そして A_0' は屈折率 n_1 と n_2 の両方による損失波長特性を示すグラフであり、使用する波長に対して右下がりの波長特性である。図2(b)は、温度上昇による損失極大波長 λ_2 のシフトが損失極大波長 λ_1 のシフトに比べて相対的に小さく、両者が接近したためである。

【0022】図2(a)が示すように、25℃においては2つの屈折率 n_1 と n_2 による損失波長特性 A_0 は、ほぼ平坦の状態である。これに対して図2(b)が示すように、温度が室温から75℃に上昇すると、損失極大波長 λ_1 、 λ_2 の中の一方の損失極大波長 λ_1 が λ_1' までシフトする。その結果、損失極大波長 λ_1' と λ_2 との両方の損失波長特性は A_0' となり、傾斜した特性を示すようになる。屈折率 n_1 の数をさらに増加することによって、損失極大波長 λ_1 の全体的減衰を所望の形状に形成することができる。

【0023】損失極大波長 λ_1 が λ_1' までシフトする大きさ(厳密には、損失波長特性も変化するが変化の割合が小さいので考慮しないことにする。)はコアに添加されたゲルマニウムの量と温度あるいは張力によって決まることが知られている。ゲルマニウムが添加されたコアに形成された長周期グレーティングの損失極大波長 λ_1 が温度あるいは張力等の物理量によってシフトするメカニズムは、完全に解明されていない。しかしながら、このような現象に関する最近の研究成果が、論文「Simultaneous Measurement Systems Employing Long-Period Grating Sensors」(OFS-10; Fr 2-5)において実験的に測定されたことが発表されている。

【0024】また、長周期グレーティングにおいて、コアモードからクラッドモードに放射してコアモードの強度が所定の損失極大波長を中心に減衰する場合、コアモードと結合するクラッドモードの次数によって損失極大波長 λ_1 及び減衰の極大値が変化することが、論文「Long-Period Fiber Gratings as Band-Rejection Filters」(JOURNAL OF LIGHTWAVE TECHNOLOGY VOL. 14, NO. 1, JANUARY 1996)に記載されている。

【0025】さらに、異種光ファイバに形成された長周期グレーティングにおいても温度に対応して損失極大波長が変化することが、論文「Temperature-insensitive long-period fiber gratings」(OFC, '96; PD-1)に記載されている。

【0026】図3は、異種光ファイバに形成された長周期グレーティングの構成を示す図である。図3におい

て、光ファイバ12と光ファイバ12のコア10、10は石英系ガラスに酸化ゲルマニウムのような感光性の元素が添加されると共に、光ファイバ12の屈折率分布は図4(a)に示すように分散シフトファイバのプロファイル(DSF)に形成され、また、光ファイバ12は図4(b)に示すようにコアの外周にクラッドより高屈折率のリング部を有するプロファイル(W型)に形成されている。このような屈折率分布のコアに長周期グレーティングを形成すると、コアの屈折率分布がW型の場合(図4(b))は温度に対して損失極大波長のシフトが極めて小さいが、コアの屈折率分布がDSFの場合(図4(a))は温度に対して損失極大波長がシフトすることが示されている。

【0027】本発明は、これら温度あるいは張力等の物理量によって損失極大波長がシフトする複数の長周期グレーティングを組み合わせて、全体を所望の損失波長特性に形成することを第1の目的とするものである。

【0028】なお、これら物理量によっていずれか一つの損失極大波長 λ_1 がシフトするというのは、一方の損失極大波長 λ_1 が他方の損失極大波長 λ_2 に比べてシフトする大きさに差があり、一方の損失極大波長 λ_1 が他方の損失極大波長 λ_2 に接近したり、遠ざかることである。

【0029】長周期グレーティングにおいて、コアモードからクラッドモードに放射してコアモードの強度が所定の損失極大波長を中心に減衰する場合、コアモードと結合するクラッドモードの次数によって損失極大波長 λ_1 及び損失の極大値が変化する。したがって、屈折率 n_1 の間隔 Δ を選択することによって損失極大波長 λ_1 及び損失の極大値、さらには周囲の物理量の変化に対する損失極大波長のシフトを変えることができる。

【0030】図5は、本実施形態に係わる長周期グレーティングの作成方法を表す図である。本実施形態では、まず、図5(a)に示されるように、強度変調マスク30を介して光ファイバ12に紫外光を照射して光ファイバ12に長周期グレーティングを形成する。

【0031】光ファイバ12は、石英ガラスを主成分とするものであり、屈折率上昇材のゲルマニウムが添加されている。このゲルマニウムは、周知のとおり、波長248nm又は193nm付近の紫外光に対する感光材としての役割も有している。すなわち、ゲルマニウムが添加された石英ガラスは、上記のような波長の紫外光が照射されると、その照射部分において屈折率が上昇するという性質を持つ。このことを鑑み、本実施形態では、光ファイバ12への照射紫外光として、波長248nm帯のエキシマレーザ光を用いている。

【0032】強度変調マスク30は、透明な石英ガラス平板31の表面に複数の帯状クロム層32を等間隔に蒸着したものである。このクロム層32は、紫外光を遮断する作用を有している。従って、石英ガラス平板31の

クロム蒸着面には、光遮断部（即ち、クロム層）と光透過部（各クロム層の間に位置するガラス表面）とが交互に格子状に配列されていることになる。本実施形態では、この強度変調マスク30のクロム蒸着面の反対側の面に紫外光が照射され、クロム層32間のガラス表面31を透過した紫外光のみが光ファイバ12に照射される。このため、光ファイバ12には、紫外光が等間隔の格子状に照射されることになる。この紫外光は、感光材であるゲルマニウムが添加されたコアに入射して、コアの屈折率変化を誘起する。これにより、光ファイバ12には、屈折率が局所的に上昇した複数の部位がコアの軸線に沿って屈折率の縞が等間隔に配列されることになる。屈折率縞の周期は、100～1000 μm とするのがよい。

【0033】図5（b）は、このようにして屈折率縞を形成した後におけるコア及びクラッドのファイバ軸方向に沿った屈折率分布を示す図である。図5（b）に示すように、上記の紫外光によって、コアに複数の局所的な屈折率上昇部が形成されて屈折率縞を構成している。なお、図面の簡略化のため、図5（b）には、紫外光照射による屈折率上昇部が3個だけ示されているが、実際の長周期グレーティングは、このような屈折率上昇部を数百個程度に及んで構成させる。

【0034】（実施形態2）上述した長周期グレーティングが形成された光ファイバを光ファイバアンブに適用した光学デバイスについて説明する。図6は、本実施形態に係わる光ファイバアンブが光伝送路20の間に配置された構成を示す図である。図6において、エルビウム等の希土類元素が添加された光ファイバ21と、希土類添加ファイバ21に信号光Sと励起光Eとを導入するための光カプラ22からなる光ファイバアンブ、および光ファイバアンブの出力側には長周期グレーティングを有する光ファイバ12が接続されている。

【0035】また、図7は、光ファイバアンブの利得曲線の一例を示す図である。図7において、Bは25℃の室温における利得特性を示すグラフであり、所定の波長範囲においてほぼ平坦な利得が得られている。これに対して、光ファイバアンブの周囲温度が75℃に上昇すると、励起光Eによる光ファイバアンブの反転分布は曲線Cに示すように、波長に対して傾斜した利得特性を示すように変化する。このような光ファイバアンブによって光増幅が繰り返されると、信号光Sは反転分布に応じて増幅されるので波長によって利得が変化する。このため、波長分割多重方式の多重化通信システムでは、チャンネルごとに異なる利得が与えられてしまい、これによっていくつかのチャンネルのビット誤り率が高くなるという問題が生じている。

【0036】このように温度に対して傾斜する利得特性を平坦化するために、上述した図2に示すように、室温では平坦で、高温になるにしたがって波長に対して右下

がりの損失波長特性を有する長周期グレーティングを光ファイバアンブの後（あるいは前、又は中間）に接続すればよい。

【0037】図8は、光ファイバアンブに長周期グレーティングを接続した場合、25℃の利得特性と損失波長特性（図8（a））及び75℃の利得特性と損失波長特性（図8（b））を示すグラフである。25℃の状態を表す図8（a）において、A₀は図2（a）に示した損失波長特性、Bは図7に示した利得特性であり、B₁は損失波長特性A₀と利得特性Bとによって得られた光ファイバアンブの実効利得特性であり、有効波長範囲 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ において略平坦な利得が得られている。また、75℃の状態を表す図8（b）において、A₀'は図2（b）に示した損失波長特性、Cは図7に示した利得特性であり、C₁は損失波長特性A₀'と利得特性Cとによって得られた光ファイバアンブの実効利得特性である。75℃の実効利得特性C₁は、光ファイバアンブの実効動作波長範囲 $\lambda_1 \sim \lambda_2$ において平均利得に対する利得偏差 Δ は略4%以内に抑えることができた。

【0038】なお、光ファイバアンブに使用されるエルビウム添加ファイバの利得特性は、高温になるほど図7のCに示すように波長が大きくなると増加する傾向を示す。このような傾向の温度依存性を解消するために接続される長周期グレーティングの損失極大波長の全体的な形状は、図2（a）に示すように室温ではほぼ一定（A₀）で、温度が上昇するに従って図2（b）に示すように短波長側で低く、長波長側で高い損失（A₀'）を示すと共に、複数の長周期グレーティングのうち、室温における損失極大波長が短波長側あるものほど、温度変化に対する波長変動が大きい特性を示すものが好ましい。短波長側の損失極大波長が長波長側の損失極大波長に近付くように形成すると、温度によって長波長側に発生する利得変動のピークを補償しやすくなる。この点に関しては、張力を加えて損失極大波長がシフトする場合も同様であり、室温における損失極大波長が短波長側あるものほど、張力に対する波長変動が大きい特性を示すものが好ましい。

【0039】（実施形態3）長周期グレーティングを光ファイバアンブに適用して温度依存性を補償する他の方法について説明する。図9は、本実施形態に係わる光ファイバアンブの構成を示す図である。図9において、エルビウム等の希土類元素が添加された光ファイバ21と、希土類添加ファイバ21に信号光Sと励起光Eとを導入するための光カプラ22からなる光ファイバアンブ、および光ファイバアンブの出力側には長周期グレーティングを有する光ファイバ12が接続され、さらに、温度センサ24と光ファイバ12に張力Tを付与するための張力付与機構23を備えた構成の光学デバイスである。希土類添加ファイバ21及び長周期グレーティングを有する光ファイバ12は実施形態2で使用したもの

同一構造、同一特性のものである。

【0040】この発明の光学デバイスは、周囲の温度を一旦温度センサ24の電圧に変換し、この電圧を光ファイバ12に固定したピエゾ素子等に加えて光ファイバ12に張力Tを発生せしめ、この張力Tによって長周期グレーティングの損失極大波長を変化させて、全体の減衰形状が変化するものである。

【0041】このような構成の光ファイバアンブについて、25℃と75℃における利得特性を測定した結果、平均利得に対する利得偏差の比が、実効動作波長範囲において3%以内に抑えることができた。

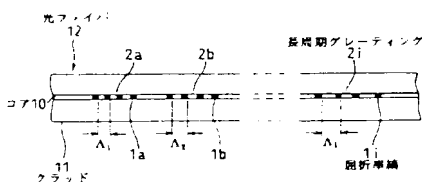
【0042】

【発明の効果】以上説明したように、本発明の長周期グレーティングを備えた光導波路は、2つ以上の長周期グレーティングを直列に配置されると共に、これら長周期グレーティングの少なくともいずれかが、温度等の条件によって損失極大波長がシフトするので全体の損失波長特性が変化することになる。したがって、光部品が温度依存性を有する場合は、光部品の温度依存性と反対の傾向を呈するような損失波長特性を有する長周期グレーティングを備えた光導波路を付加することによって、光部品の温度依存性を解消することができる。

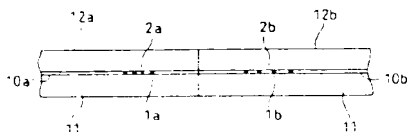
【0043】本発明の光学デバイスによれば、光部品が例えば温度依存性を有する光ファイバアンブである場合、光ファイバアンブの温度依存性と反対の傾向を呈するような損失波長特性を有する長周期グレーティングを備えた光導波路を光ファイバアンブの前、又は後あるいは中間に接続することによって温度依存性を解消することができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】



【図3】



【図1】本実施形態に係わる長周期グレーティングを備えた光ファイバの構成を示す図である。

【図2】複数の損失極大波長によって損失波長特性が変化する状態を示すグラフである。

【図3】異種光ファイバに形成された長周期グレーティングの構成を示す図である。

【図4】長周期グレーティングが形成されるコアの屈折率分布の例を示す図である。

【図5】長周期グレーティングの作成方法を示すための説明図である。

【図6】本実施形態に係わる光学デバイスの構成を示す図である。

【図7】光ファイバアンブの利得特性を示すグラフである。

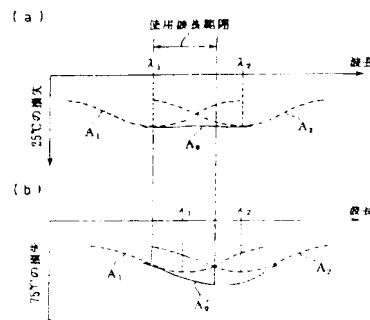
【図8】光ファイバアンブに長周期グレーティングを有する光ファイバを接続した場合の利得特性を示すグラフであり、同図(a)は25℃の特性、同図(b)は75℃の特性である。

【図9】本実施形態に係わる他の光学デバイスの構成を示す図である。

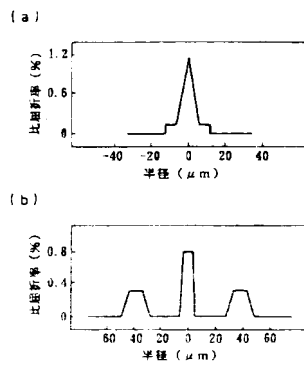
【符号の説明】

1…屈折率縞、2…長周期グレーティング、10…コア、11…クラッド、12…長周期グレーティングを備えた光ファイバ、20…光伝送路、21…希土類添加光ファイバ、22…光カプラ、23…張力付与機構、24…温度センサ、30…強度変調マスク、31…石英ガラス平板、32…クロム層、A…減衰曲線、B、C…利得曲線、E…励起光、S…信号光、T…張力、Δ…利得偏差、V…紫外光、Λ…間隔(ピッチ)、λ…波長

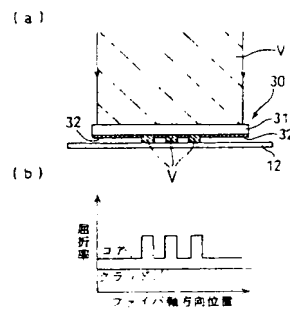
【図2】



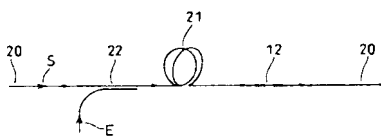
【図4】



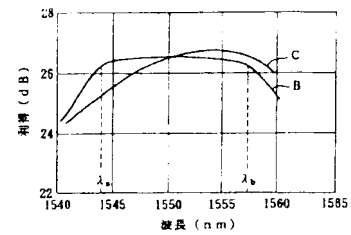
【図5】



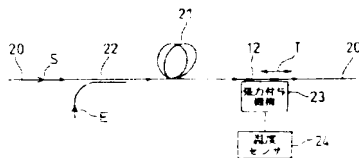
【図6】



【図7】

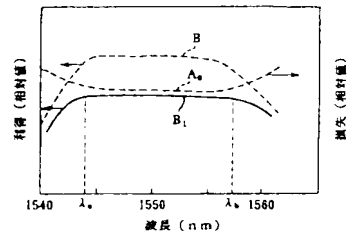


【図9】



【図8】

(a)



(b)

